



(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
06.08.2003 Patentblatt 2003/32

(51) Int Cl.7: **F02D 41/20**

(21) Anmeldenummer: **00936649.3**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE00/01360

(22) Anmeldetag: **29.04.2000**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 00/068558 (16.11.2000 Gazette 2000/46)

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ANSTEUERUNG EINES PIEZOELEKTRISCHEN
AKTORS**

METHOD AND DEVICE FOR CONTROLLING A PIEZOELECTRIC ACTUATOR

PROCEDE ET DISPOSITIF DE COMMANDE D'UN ACTIONNEUR PIEZOELECTRIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB IT

(30) Priorität: **08.05.1999 DE 19921456**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
13.02.2002 Patentblatt 2002/07

(73) Patentinhaber: **ROBERT BOSCH GMBH**
70442 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder:
• **REISCHL, Rolf**
D-70499 Stuttgart (DE)

• **RUEHLE, Wolfgang**
D-71254 Ditzingen (DE)
• **KEIM, Norbert**
D-74369 Loechgau (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 371 469 EP-A- 0 871 229
DE-A- 19 733 560 US-A- 4 726 389

• **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 011, no.**
240 (E-529), 6. August 1987 (1987-08-06) & JP 62
053183 A (NIPPON SOKEN INC), 7. März 1987
(1987-03-07)

EP 1 179 129 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die Erfindung befaßt sich mit einem Verfahren zur Ansteuerung eines piezoelektrischen Aktors, wie er insbesondere in einem Hochdruckeinspritzventil eines Kraftfahrzeugeinspritzsystems eingesetzt ist, und mit einer Schaltungsanordnung zur Durchführung dieses Verfahrens.

[0002] Ein derartiges Verfahren ist aus DE 197 33 560 A1 bekannt.

[0003] Piezoelektrische Aktoren lassen sich besonders vorteilhaft als Aktoren für Einspritzventile in Kraftfahrzeugen einsetzen, da sie bekanntermaßen die Eigenschaft aufweisen, sich in Abhängigkeit von einer daran angelegten Spannung zusammenzuziehen oder auszudehnen. Der Vorteil ist insbesondere dort ausgeprägt, wenn ein solches Einspritzventil, wie im Kraftfahrzeug, schnelle oder häufige Bewegungen auszuführen hat. Allgemein sind piezoelektrische Elemente kapazitive Verbraucher, die sich entsprechend dem jeweiligen Ladungszustand bzw. der sich daran einstellenden oder angelegten Spannung zusammenziehen und ausdehnen.

[0004] Bei einem mit einem piezoelektrischen Aktor ausgerüsteten Kraftstoffeinspritzventil kann es, vor allem, wenn eine zeitlich variierende Lade- und Entladegeschwindigkeit auftritt, zu mehr oder weniger stark ausgeprägten Einschwingvorgängen kommen.

[0005] Bei dem in der oben erwähnten DE 197 33 560 A1 beschriebenen piezoelektrischen Aktor wird ein im Ladestromkreis desselben vorgesehener Schalter bzw. ein im Entladestromkreis vorgesehener Schalter während des Ladens bzw. Entladens wiederholt derart betätigt, daß das piezoelektrische Aktorelement durch einen vorgegebenen mittleren Lade- bzw. Entladestrom auf eine vorgegebene Spannung gebracht wird. Dabei wird durch das wiederholte Öffnen und Schließen des jeweiligen Schalters ein getaktetes Laden bzw. Entladen durchgeführt.

[0006] Aus der EP 0 371 469 A1 ist eine Vorrichtung zum Ansteuern eines Piezo-Aktors zum Öffnen und Schließen eines Ventilieds bekannt, welche den Piezo-Aktor in zwei Phasen ansteuert. In einer ersten Phase wird der Aktor mit einer ersten Spannung angesteuert. Die erste Phase endet kurz bevor das Ventilied den Ventilsitz erreicht. In einer daran anschließenden zweiten Phase wird die am Piezo-Aktor angelegte Spannung erhöht. In Folge dessen erhöht sich auch die Schließkraft des Ventilieds. Durch diese Maßnahme kann zwar möglicherweise das unerwünschte Prellen des Ventilieds auf dem Ventilsitz unterbunden werden, allerdings ist der Verschleiß von Ventilsitz und Ventiliedspitze entsprechend hoch.

[0007] Bei kürzlich entwickelten mit piezoelektrischem Aktor ausgerüsteten Hochdruckeinspritzventilen für die Benzindirekteinspritzung im Kraftfahrzeug soll

bei kurzen Einspritzzeiten eine gute Reproduzierbarkeit und Linearität der Einspritzmenge über der Ventilöffnungszeit (nachstehend abgekürzt DFR) sichergestellt werden. Das Problem dabei ist jedoch, daß, je kürzer die Öffnungszeit eines solchen Hochdruckeinspritzventils wird, der DFR beim Öffnen durch das Überspringen einer stark beschleunigten Ventilnadel wieder verschlechtert wird. Darüberhinaus führt das Prellen zu einem erhöhten Verschleiß der Anschlagpartner. Umgekehrt kann es beim Schließen eines schnellen Hochdruckeinspritzventils zum Abprallen der Ventilnadel am Ventilsitz kommen, was wiederum den DFR verschlechtert und die Ventilnadel und den Ventilsitz unnötig verschleißt.

[0008] In magnetisch betriebenen Hochdruckeinspritzventilen wird die Schwingungsdämpfung, Prellervermeidung und der Verschleißschutz mit mechanischen Konstruktionen gelöst.

[0009] In der beiliegenden Figur 1 sind in Form zweier Zeitdiagramme die zeitlichen Abläufe an einem mit einem piezoelektrischen Aktor ausgerüsteten und bekannten Hochdruckeinspritzventil verdeutlicht.

[0010] Das obere Zeitdiagramm zeigt, daß der bekannte piezoelektrische Aktor vom Zeitpunkt t_0 an mit einer einzigen Ladung (Hub) Q_{Aktor1} , mit einer der Steigung im Diagramm entsprechenden Stromstärke I_1 zum Öffnen des Ventils umgeladen wird. Dabei tritt am Ende dieses Ladevorgangs mit Q_{Aktor1} ein starkes Überspringen auf, wodurch, wie mit A im unteren Teil der Figur 1 angedeutet ist, eine Schwingung der Ventilnadel im geöffneten Zustand verursacht wird. Nach einer bestimmten Ventilöffnungszeit wird der piezoelektrische Aktor zum Schließen des Hochdruckeinspritzventils mit derselben Ladung (Hub) Q_{Aktor1} und in entgegengesetzter Richtung mit der negativen Steigung I_1 umgeladen. Das Ventil schließt plötzlich, wobei es zum Prellen der Ventilnadel am Ventilsitz kommt (β).

Aufgabe und Vorteile der Erfindung

[0011] Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Ansteuervorrichtung zur Ansteuerung eines piezoelektrischen Aktors, der insbesondere in einem Hochdruckeinspritznadelventil eines Kraftfahrzeugeinspritzsystems eingesetzt ist, zu ermöglichen, wobei eine Schwingungsdämpfung, die Überspringer beim Öffnen des Ventils, und dadurch den schädlichen Einfluß auf den DFR und Verschleiß vermeidet, und außerdem ein weiches Schließen des Einspritzventils erreicht werden sollen, um dadurch ein Prellen des Ventilieds am Ventilsitz und den damit einhergehenden Verschleiß zu vermeiden.

[0012] Diese Aufgabe wird anspruchsgemäß gelöst.

[0013] Die Erfindung benutzt die Möglichkeiten eines piezoelektrischen Aktors zur zeitabhängigen Kraft-Wegesteuerung, da der Weg und die Kraft eines solchen Piezoaktors linear mit der aufgebrachten Ladung steigt.

[0014] Erfindungsgemäß wird der Aktor beim Öffnen und Schließen des Ventils nur über einen Teilhub mit maximaler Steigung I_1 umgeladen. Anschließend wird der Piezo-Aktor mit einer anderen Steigung I_2 , die kleiner ist als die erste maximale Steigung I_1 , der endgültige Hub erreicht.

[0015] Die Restladephase wird so gewählt, daß für das mechanische System, d. h. Aktor-Ventilnadel-Hydraulik ein aperiodischer Übergang zum Endwert angenähert wird.

[0016] Zur Durchführung dieses Ansteuerverfahrens wird eine Steuerschaltung für die Aktorendstufe so ausgelegt, daß die Teilhübe, die Steigungen I_1 und I_2 und die Pausendauer entsprechend den mechanischen Schwingeigenschaften des Systems Aktor-Ventilnadel-Hydraulik appliziert und adaptiert werden können.

[0017] Durch den Einsatz der oben beschriebenen schwingungsdämpfenden elektrischen Ansteuerung werden kostenintensive mechanische Dämpfungsmaßnahmen vermieden.

[0018] Ein weiterer Vorteil ist darin zu sehen, daß die Kennwerte der Schwingungsdämpfung bei einer Änderung meßbarer Systemparameter (z. B. Druck im Rail eines Common-Rail-Einspritzsystems) während des Betriebs angepaßt werden können, indem die von der Ansteuerschaltung in der Endstufe zum Öffnen und Schließen des Ventils an den piezoelektrischen Aktor jeweils zugeführten Stromstärken und deren Dauer während des Betriebs verändert werden.

[0019] Nachstehend wird anhand der Zeichnung ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Ansteuerverfahrens am Beispiel eines mit einem piezoelektrischen Aktor ausgestatteten Hochdruckeinspritzventils beschrieben. Es ist jedoch zu bemerken, daß das erfindungsgemäße Ansteuerverfahren nicht nur bei der Ansteuerung eines in einem Hochdruckeinspritzventil eingesetzten piezoelektrischen Aktors sondern allgemein zum schnellen und sicheren Schalten von piezoelektrischen Aktoren anwendbar ist.

Zeichnung

[0020]

Figur 1 zeigt in Form zweier Zeitdiagramme die bereits beschriebenen zeitlichen Abläufe beim Öffnen und Schließen eines Hochdruckeinspritzventils, welches mit Überschwingern und mit Prellen am Ventilsitz behaftet ist, und die einem piezoelektrischen Aktor dabei erteilten Hübe.

Figur 2 zeigt ebenfalls in Form zweier Zeitdiagramme das mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bei der Ansteuerung des beispielhaft im Hochdruckeinspritzventil eingesetzten piezoelektrischen Aktors erzielte Verhalten und die davon abhängigen Ventilhubhöhe ohne

Überschwingen und Prellen.

Figur 3 zeigt eine zur Durchführung des Verfahrens realisierte Schaltungsanordnung, d. h. eine Ansteuerschaltung mit Aktorendstufe.

Figur 4 zeigt die durch den piezoelektrischen Aktor fließenden Istströme bezogen auf das im oberen Teil der Figur 2 gezeigte Zeitdiagramm.

Ausführungsbeispiel

[0021] In der oberen Hälfte der Figur 2 ist in Form eines Zeitdiagramms die dem erfindungsgemäßen Verfahren entsprechende Funktion bei der Ansteuerung eines beispielhaft in einem Hochdruckeinspritzventil im Kraftfahrzeugeinspritzsystem eingesetzten piezoelektrischen Aktors dargestellt.

[0022] Beginnend mit dem Zeitpunkt t_0 wird der (nicht gezeigte) Aktor nur über einen Teilhub Q_{Aktor1} mit der maximalen Steigung $I_1 = dQ_{Aktor}/dt_1$ umgeladen. Der Weg und die Kraft des Aktors entspricht danach der aufgetragenen Ladung Q_{Aktor1} . Nach einer Pause der Zeitdauer T_P erfolgt zum endgültigen Öffnen des Ventils ein weiterer Teilhub mit einer geringeren Umladesteigung $I_2 = dQ_{Aktor}/dt_2$ bis der endgültige Hub Q_{Aktor2} beim Öffnen des Ventils erreicht ist.

[0023] Nach einer bestimmten Zeit, d. h. zum Zeitpunkt t_1 , beginnt erneut eine Umladung zum Schließen des Ventils zunächst mit dem Hub Q_{Aktor3} mit der der Stromstärke entsprechenden Steigung I_1 . Dann folgt eine Pause der Dauer T_P und vom Zeitpunkt t_2 am Ende der Pause T_P beginnt die restliche Umladung mit Q_{Aktor4} und der geringeren Steigung I_2 bis das Ventil geschlossen ist.

[0024] Die Restladephase ($Q_{Aktor1} T_P, dQ_{Aktor}/dt_2, Q_{Aktor2}$), ($Q_{Aktor3} T_P, dQ_{Aktor}/dt_2, Q_{Aktor4}$) wird demnach so gewählt, daß für das mechanische System: Aktor-Ventilnadel-Hydraulik ein aperiodischer Übergang zum Endwert angenähert wird, wie dies in dem im unteren Teil der Figur 2 dargestellten Zeitdiagramm für den erreichten Ventilnadelhub veranschaulicht ist.

[0025] Zur Realisierung dieses Verfahrens ist erfindungsgemäß eine in Figur 3 als Blockschaltbild dargestellte Schaltungsanordnung, d. h. eine Ansteuerschaltung für die Aktorendstufe so ausgelegt, daß die Hübe Q_{Aktor1} und Q_{Aktor2} , die den Steigungen entsprechenden Stromstärken $I_1 = dQ_{Aktor}/dt_1$ und $I_2 = dQ_{Aktor}/dt_2$ und die Pausendauer T_P entsprechen den mechanischen Schwingeigenschaften des Systems: Aktor-Ventilnadel-Hydrauliksystems appliziert und adaptiert werden können.

[0026] Die am Messwiderstand R_{mess} , der in Reihe zum piezoelektrischen Aktor liegt, gemessenen Istströme und die am Spannungsmesseiter abfallenden Istspannungen werden jeweils in Zweipunktreglern mit von einem Mikrocomputer μC ermittelten Sollwerten

verglichen und die daraus sich ergebenden Differenzsignale einer Endstufenlogik zugeführt, welche die erfindungsgemäße Ladezeiten festlegt und entsprechende Signale Treibergliedern der Endstufe zuführt.

[0027] Figur 4 zeigt die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren realisierten, durch den piezoelektrischen Aktor strömenden Istströme im Vergleich mit dem im oberen Teil der Figur 2 gezeigten, die Sollströme über die Steigungen I_1 , I_2 veranschaulichenden Zeitdiagramm.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ansteuerung eines in einem Einspritzventil, insbesondere Hochdruckeinspritznadelventil eines Kraftfahrzeugspritzsystems eingesetzten piezoelektrischen Aktors mit einer den piezoelektrischen Aktor zum Öffnen und Schließen des Ventils in mehreren Zeitintervallen ladenden bzw. entladenden Ansteuerschaltung, **dadurch gekennzeichnet**,
 - **daß** beim Öffnen und Schließen des Ventils der piezoelektrische Aktor anfänglich mit einer ersten Teilladung (Q_{Aktor1} , Q_{Aktor3}) mit einer maximalen Steigung (I_1) umgeladen wird,
 - **daß** der piezoelektrische Aktor in derselben Richtung mit einer zweiten Teilladung auf den endgültigen Hub (Q_{Aktor2} , Q_{Aktor4}) geladen wird, wobei die Steigung (I_2) für die zweite Teilladung kleiner ist als die maximale Steigung (I_1) des ersten Teilhubs, so daß beim Öffnen bzw. Schließen des Ventils kein Überschwinger auftritt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** zwischen erster Teilladung (Q_{Aktor1} , Q_{Aktor3}) und zweiter Teilladung (Q_{Aktor2} , Q_{Aktor4}) eine Pause (T_P) vorgesehen ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet daß** eine an die erste Teilladung (Q_{Aktor1}) anschließende Restladephase (T_P , dQ_{Aktor}/dt_2 , Q_{Aktor2} , Q_{Aktor3} , T_P , dQ_{Aktor}/dt_2 , Q_{Aktor4}) so gewählt ist, daß für das mechanische System (Aktor, Ventilielglied, Hydraulik) ein aperiodischer Übergang zum Endwert angenähert wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die erste Teilladung (Q_{Aktor1}) so gewählt wird, dass das Ventilielglied seinen Anschlag nicht erreicht.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Pausendauer (T_P) zum Öffnen und Schließen des Ventils jeweils unterschiedlich gewählt ist.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die mechanischen Schwingeigenschaften des Aktor-Ventilielglied-Hydrauliksystems ermittelt und entsprechend dieser ermittelten Systemparameter die Größen und Steigungen für die Aktorhübe angepaßt werden.

7. Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Steuerschaltung für die Endstufe eines piezoelektrischen Aktors für ein Einspritzventil eines Kraftfahrzeugspritzsystems so ausgelegt ist, daß die zum Öffnen und Schließen des Ventils vom piezoelektrischen Aktor ausgeübten Teilhübe (Q_{Aktor1} , Q_{Aktor2} , Q_{Aktor3} , Q_{Aktor4}), die den Steigungen entsprechenden Stromstärken (I_1) und (I_2) und die Pause (T_P) entsprechend den mechanischen Schwingeigenschaften des aus Aktor, Ventilielglied und Hydraulik bestehenden Systems appliziert und adaptiert werden.

Claims

1. Method for driving a piezoelectric actuator which is used in an injection valve, in particular a high-pressure injection needle valve of a motor vehicle injection system, and which has a drive circuit for charging and respectively discharging the piezoelectric actuator in order to open and close the valve at a plurality of time intervals, **characterized**
 - **in that** when the valve is opened and closed, the piezoelectric actuator is initially recharged with a first partial charge ($Q_{actuator1}$, $Q_{actuator3}$) with a maximum gradient (I_1),
 - **in that** the piezoelectric actuator is charged in the same direction to the final travel ($Q_{actuator2}$, $Q_{actuator4}$) with a second partial charge, the gradient (I_2) for the second partial charge being smaller than the maximum gradient (I_1) of the first partial travel so that there is no overshoot when the valve is opened and respectively closed.
2. Method according to Claim 1, **characterized in that** a pause (T_P) is provided between the first partial charge ($Q_{actuator1}$, $Q_{actuator3}$) and the second partial charge ($Q_{actuator2}$, $Q_{actuator4}$).
3. Method according to Claim 1 or 2, **characterized in that** a residual charge phase (T_P , $dQ_{actuator}/dt_2$, $Q_{actuator2}$, $Q_{actuator3}$, T_P , $dQ_{actuator}/dt_2$, $Q_{actuator4}$) which follows the first partial charge ($Q_{actuator1}$) is selected such that an aperiodic transition to the final value is approached for the mechanical system (actuator, valve element, hydraulics).

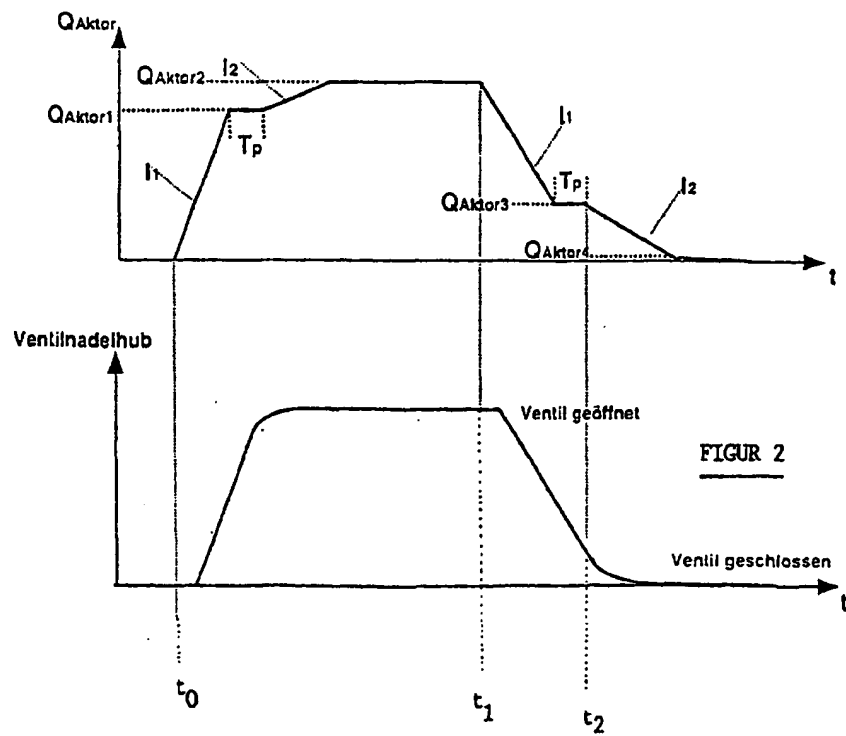
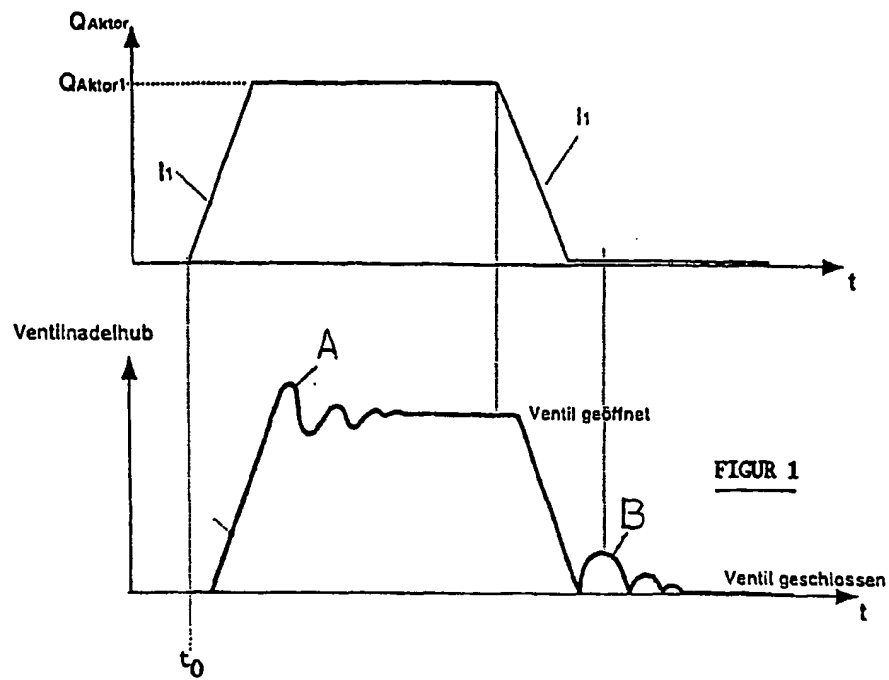
4. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the first partial charge ($Q_{\text{actuator1}}$) is selected such that the valve element does not reach its stop.
5. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** different durations (T_p) of the pause for opening and closing the valve are selected in each case.
6. Method according to one of the preceding claims, **characterized in that** the mechanical oscillating properties of the actuator/valve element hydraulic system are determined and the variables and gradients for the actuator travel values are adapted in accordance with the system parameters which are determined.
7. Circuit arrangement for carrying out the method according to one of Claims 2 to 6, **characterized in that** the control circuit for the output stage of a piezoelectric actuator for an injection valve of a motor vehicle injection system is configured in such a way that the partial travel values ($Q_{\text{actuator1}}$, $Q_{\text{actuator2}}$, $Q_{\text{actuator3}}$, $Q_{\text{actuator4}}$) which are carried out in order to open and close the valve of the piezoelectric actuator [lacuna] which are applied and adapted to current strengths (I_1) and (I_2) corresponding to the gradients and the pause (T_p) is applied and adapted in accordance with the mechanical oscillating properties of the system composed of actuator, valve element and hydraulics.

Revendications

1. Procédé pour commander un actionneur piézoélectrique utilisé dans une soupape d'injection, en particulier une soupape d'injection à haute pression d'un système d'injection d'un véhicule automobile, avec un circuit de commande qui charge ou qui décharge l'actionneur piézoélectrique pour ouvrir et pour fermer la soupape selon plusieurs intervalles de temps, **caractérisé en ce que**
 - lors de l'ouverture et de la fermeture de la soupape, l'actionneur piézoélectrique est rechargé d'abord avec une première charge partielle (Q_{Aktor1} , Q_{Aktor3}) ayant une pente maximale (I_1),
 - l'actionneur piézoélectrique est chargé dans la même direction avec une deuxième charge partielle pour obtenir l'élévation définitive (Q_{Aktor2} , Q_{Aktor4}), la pente (I_2) pour la deuxième charge partielle étant inférieure à la pente maximale (I_1) de la première élévation partielle, de sorte qu'il n'y a pas de dépassement lors de

l'ouverture ou de la fermeture de la soupape.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**
 - entre la première charge partielle (Q_{Aktor1} , Q_{Aktor3}) et la deuxième charge partielle (Q_{Aktor2} , Q_{Aktor4}) on prévoit une pause (T_p).
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce qu'**
 - une phase de charge résiduelle (T_p , dQ_{Aktor}/dt_2 , Q_{Aktor2} ; Q_{Aktor3} , T_p , dQ_{Aktor}/dt_2 , Q_{Aktor4}) qui suit la première charge partielle (Q_{Aktor1}) est choisie de telle manière qu'une transition apériodique vers la valeur finale est approchée pour le système mécanique (actionneur, organe de soupape, hydraulique).
4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**
 - la première charge partielle (Q_{Aktor1}) est choisie de telle manière que l'organe de soupape n'atteint pas son butoir.
5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**
 - la durée de la pause (T_p) pour ouvrir et pour fermer la soupape est à chaque fois choisie de façon différente.
6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**
 - les propriétés d'oscillation mécanique du système hydraulique / actionneur/organe de soupape sont déterminées et les grandeurs et les pentes sont ajustées pour l'élévation de l'actionneur en fonction de ces paramètres de système déterminés.
7. Arrangement de circuit pour exécuter le procédé selon l'une des revendications 2 à 6, **caractérisé en ce que**
 - le circuit de commande pour l'étage final d'un actionneur piézoélectrique pour une soupape d'injection d'un système d'injection d'un véhicule automobile est conçu de telle manière que les élévations partielles (Q_{Aktor1} , Q_{Aktor2} , Q_{Aktor3} , Q_{Aktor4}) exercées par l'actionneur piézoélectrique pour ouvrir et pour fermer la soupape, les intensités de courant (I_1) et (I_2) correspondant aux pentes et la pause (T_p) sont appliquées et adaptées en fonction des propriétés mécaniques d'oscillation du système composé par l'actionneur, l'organe de soupape et l'hydraulique.



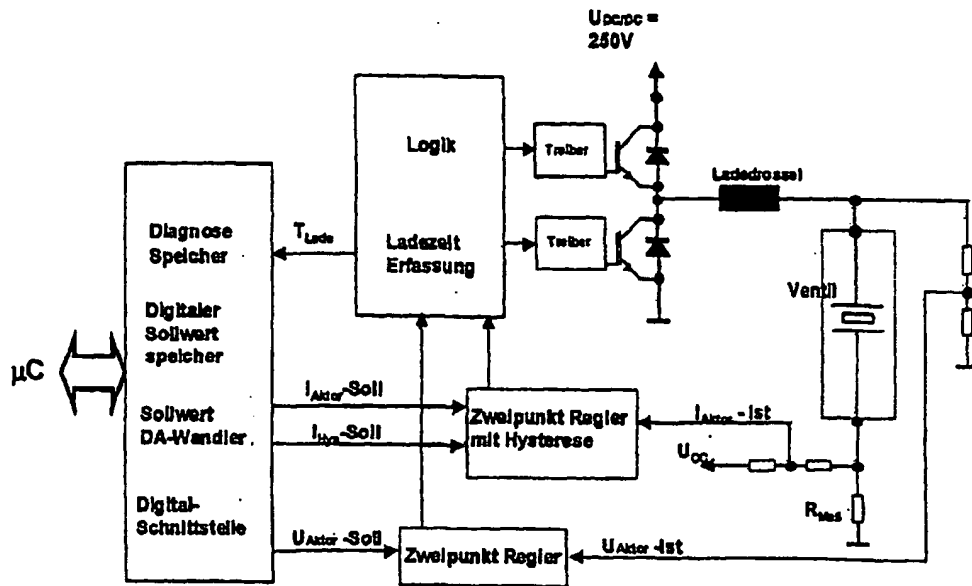


FIG. 3

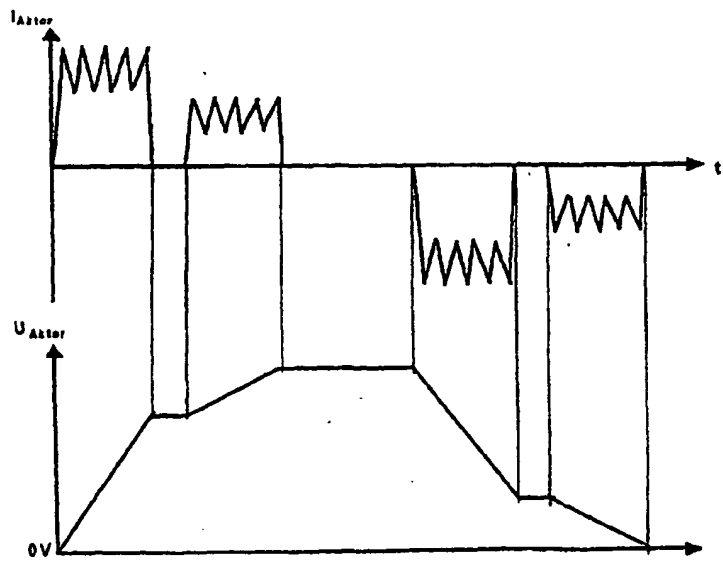


FIG. 4